



تحلیل انتقادی و سیاست محور مثریت سیستم‌های آبیاری تحت

فشار در مواجهه با بحران کم آبی

نامزد پوهنیا ر صبور خیر محمدزاده^{۱*}، پوهنیا ر نور محمد کاکر^۲، پوهنمل مسلم جلیمی^۳
رشته آگرانومی^۱، پوهنخی زراعت، پوهنتون فراه، رشته کیمیا^۲، پوهنخی تعلیم و تربیه،
پوهنتون فراه

ایمیل: Saboorkmz4@farau.edu.af

چکیده

با تشدید مشکلات کم آبی و پیامدهای روزافزون تغییرات اقلیمی، مدیریت منابع آب به یکی از مهم‌ترین اولویت‌های سکتور زراعت در کشورهای در حال توسعه، مانند افغانستان، مبدل شده است. آبیاری‌های کم مصرف (Low-Volume Irrigation Systems) به مجموعه‌ای از سیستم‌های انتقال و توزیع آب اطلاق می‌شود که با استفاده از فشار کنترل‌شده و توزیع هدفمند آب در ساحة ریشه نباتات، میزان تلفات ناشی از تبخیر، رواناب سطحی و نفوذ عمقی غیر مفید را به حداقل می‌رساند و مثریت مصرف آب را افزایش می‌دهند. مهم‌ترین نمونه‌های این سیستم‌ها شامل آبیاری قطره‌ای و آبیاری بارانی است که در این چند سال به‌عنوان روش مؤثر، مطمئن و سازگار با مشکل کمبود آب در سطح جهانی انکشاف یافته است. این تحقیق با استفاده از روش تحلیل اسنادی و مرور سیستماتیک منابع علمی معتبر بین‌المللی از جمله مقالات منتشر شده در ژورنال‌های Agricultural Water Management و Irrigation Science، به ارزیابی مثریت سیستم‌های آبیاری تحت فشار در کاهش مصرف آب، افزایش حاصل‌دهی و تقویت مدیریت منابع آبی می‌پردازد. یافته‌ها نشان می‌دهد که این سیستم‌ها در مقایسه با روش‌های عنعنوی آبیاری، قابلیت صرفه‌جویی آب تا حدود ۶۰ فیصد را دارد و هم‌زمان باعث بهتر شدن توزیع یکنواختی آب، ارتقای مثریت مصرف کودها و افزایش حاصل می‌گردد. با آن‌هم؛ مشکلاتی مانند نبود میکانیزم‌های حمایتی مؤثر، محدودیت دسترسی به سرمایه و تسهیلات اعتباری، کمبود ظرفیت تخنیکی و مسلکی ده‌اقلین در مدیریت منابع آب از موانع اساسی و مشکل‌زا در مسیر تطبیق وسیع این تکنالوژی‌ها در کشورهای کم درآمد محسوب می‌شوند. در پایان، این تحقیق یک چارچوب سیاست محور متناسب با شرایط افغانستان پیشنهاد می‌نماید که بر سه محور اساسی استوار است: تقویت برنامه‌های آموزشی و ترویجی برای ارتقای مهارت‌های تخنیکی ده‌اقلین، فراهم‌سازی تسهیلات مالی و مشوق‌های اقتصادی برای کاهش هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری و اصلاح و تقویت ساختارهای حکومتی در حوزه مدیریت یکپارچه منابع آب.

کلمات کلیدی: آبیاری بارانی، آبیاری تحت فشار، آبیاری کم مصرف، آبیاری قطره‌ای، تغییرات اقلیمی، مثریت آب، مدیریت منابع آب.



A Critical and Policy-Oriented Analysis of the Effectiveness of Pressurized Irrigation Systems in Addressing Water Scarcity Crises

Abstract:

In the context of growing water scarcity and the worsening impacts of climate change, water resource management has become a top priority for the agricultural sector in developing countries, particularly Afghanistan. Low-volume irrigation systems refer to a range of water conveyance and distribution technologies that, by using controlled pressure and precisely applying water within the plant root zone, reduce losses from evaporation, surface runoff, and deep percolation. As a result, they significantly improve water use efficiency. The most common types of these systems are drip irrigation and sprinkler irrigation, which in recent years have been widely promoted worldwide as effective strategies for adapting to water stress. This study uses a documentary analysis method and a systematic review of reputable international scientific literature, including articles published in journals such as *Agricultural Water Management* and *Irrigation Science*, to assess how efficiently pressurized irrigation systems can reduce water consumption, increase crop yields, and improve overall water resource management. The results show that, compared with traditional surface irrigation techniques, these systems can potentially save up to about 60% of water, while also improving the uniformity of water distribution, increasing fertilizer use efficiency, and boosting crop productivity. However, several challenges limit the widespread adoption of these technologies in low-income countries. These include the lack of effective support mechanisms, limited access to capital and credit, and insufficient technical capacity among farmers in the field of water management. In response, this study proposes a policy-oriented framework tailored to the Afghan context, built around three main pillars: (1) strengthening extension and training programs to improve farmers' technical skills; (2) providing financial facilities and economic incentives to reduce high upfront investment costs; and (3) reforming and reinforcing governance structures related to integrated water resource management.

Keywords: Low-volume irrigation, pressurized irrigation, drip irrigation, sprinkler irrigation, climate change, water use efficiency, water resource management.

مقدمه

در دو دهه اخیر، بحران کم‌آبی به یکی از عمده‌ترین مشکلات محیط زیست، اقتصادی و اجتماعی در سطح جهان مبدل شده است. این معضل در کشورهایی که دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشند، تهدید مستقیم بر امنیت غذایی، معیشت دهاقین و ثبات اقتصادی به‌شمار می‌رود. براساس گزارش سازمان غذا و زراعت (FAO)، بیش از ۷۰ درصد آب شیرین قابل دسترس در سطح جهان در سکتور زراعت به مصرف می‌رسد (FAO, 2021, p. 15). این در حالی است که مقدار زیادی از این آب در جریان انتقال و توزیع، در سیستم‌های آبیاری عنعنوی و سطحی، تلف می‌گردد و میزان ضایعات آب در یک‌تعداد مناطق حتی تا ۴۰ درصد نیز گزارش شده است (World Bank, 2020, p. 31).

با توجه به تشدید تغییرات اقلیمی، کاهش بارندگی و افزایش تقاضای آب در اثر رشد نفوس و توسعه شهرنشینی، استفاده مؤثر از منابع آبی محدود به یک ضرورت استراتژیک برای بسیاری از کشورها مبدل گردیده است. در این میان، سیستم‌های آبیاری تحت فشار (آبیاری قطره‌ای، بارانی و میکروجت)؛ به‌عنوان یکی از مؤثرترین راه‌حل‌ها برای افزایش مشمریت از آب شناخته شده‌اند. این تکنالوژی‌ها از طریق کاهش تبخیر، روان‌آب و نشتی آب (Seepage)، باعث افزایش مشمریت آبیاری تا بیش از ۹۰ درصد گردیده‌اند (Pereira et al., 2020, p. 24).

بررسی‌های انجام شده در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که استفاده از آبیاری تحت فشار، افزون بر صرفه‌جویی در مصرف آب، سبب تقویت عملکرد محصولات زراعتی، کاهش هزینه‌های تولید و افزایش درآمد دهاقین نیز گردیده است. برای نمونه، در کشورهای در حال توسعه مانند هند، مصر و ایران پروژه‌های متعددی برای ترویج این سیستم‌ها اجراء شده است، اما موانعی چون هزینه‌های بلند سرمایه‌گذاری، نبود دانش تخنیکی کافی و مشکلات نهادی سبب کندی جریان تطبیق آن گردیده است (Narayanamoorthy, 2018, p. 43).

با آن‌که دستاوردهای عملی آبیاری تحت فشار در بسیاری از کشورها برجسته است، اما نبود سیاست‌های حمایتی منسجم، فقدان مدیریت یکپارچه منابع آبی و نادیده‌گرفتن شرایط محلی از جمله عواملی هستند که تأثیرگذاری این سیستم‌ها را

در سطح وسیع محدود ساخته‌اند. به همین دلیل، نیاز به یک تحلیل انتقادی و پالیسی‌محور برای درک بهتر فرصت‌ها و مشکلات عملی‌سازی آبیاری تحت فشار در چارچوب تنش آبی، بیش از هر زمان دیگر احساس می‌شود.

پیشینه تحقیق

مطالعات متعددی در سطح جهان درباره مثریت سیستم‌های آبیاری تحت فشار انجام شده‌اند پیریرا و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیق جامع تأکید کرده‌اند که آبیاری قطره‌ای و بارانی می‌توانند نقش کلیدی در کاهش تقاضای آب در زراعت داشته باشند، به شرطی که با مدیریت دقیق و پشتیبانی سیاسی همراه باشند (Pereira et al., 2020, p. 26). در افغانستان، هرچند توجه به این سیستم‌ها در سال‌های اخیر افزایش یافته، اما هنوز هم بیش‌تر اراضی زراعتی با روش‌های عنعنوی (غرقابی) آبیاری می‌شوند و آگاهی دهاقین درباره مزایای سیستم‌های تحت فشار اندک است (Sadat, 2022, p. 11).

مطالعه‌ای در هند نشان داد که در مناطقی که سیاست‌های تشویقی از سوی دولت اعمال شده‌اند، مقدار تطبیق سیستم‌های تحت فشار به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است (Narayanamoorthy, 2018, p. 45). هم‌چنین، بانک جهانی در گزارشی از پروژه‌های آبیاری در شرق میانه و شمال آفریقا بیان می‌کند که بدون چارچوب قانونی و نهادی مناسب، حتی بهترین تکنالوژی‌ها نیز به نتایج خوبی نخواهند رسید (World Bank, 2020, p. 39).

مرور سیستماتیک ادبیات تحقیق نشان می‌دهد که با وصف مطالعات مختلف قابل توجه‌ای در زمینه آبیاری تحت فشار، هم‌چنان شکاف‌های معنی‌داری در فهم یکپارچه از مثریت این سیستم‌ها در شرایط واقعی کشورهای دارای تنش آبی وجود دارد. بخش قابل‌ملاحظه‌ای از تحقیقات بر جنبه‌های تخنیکی و مثریت فزیکتی تمرکز داشته‌اند، درحالی‌که ابعاد نهادی، اقتصادی و رفتاری که نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت یا ناکامی این سیستم‌ها ایفاء می‌کنند، کم‌تر به‌صورت تلفیقی و زمینه‌محور مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بناً ناهمسانی در نتایج گزارش شده درباره صرفه‌جویی آب و مثریت زراعتی، ضرورت بازتعریف انتقادی در مفروضات و روش‌های تحلیلی موجود را برجسته می‌سازد. بر این اساس، نیاز به

یک تحلیل مروری جامع که بتواند با تلفیق شواهد تجربی و نظری، تصویری منسجم از قوت‌ها، فرصت‌ها، محدودیت‌ها و الزامات سیاستی آبیاری تحت فشار ارائه نماید، به وضوح احساس می‌شود؛ ضرورتی که مبنای شکل‌گیری این تحقیق را فراهم ساخته است و این تحقیق به صورت یک مطالعه مروری، در پی آن است تا با مرور سیستماتیک ادبیات علمی، میزان اثربخشی سیستم‌های آبیاری تحت فشار در تقویت مصرف آب و ارتقای مثریت زراعتی را بررسی نموده، موانع تخنیکی، اقتصادی و موانع بازدارنده تطبیق این سیستم‌ها را تحلیل کرده و بر اساس تجارب موفق بین‌المللی، چارچوب‌های سیاستی مناسب برای گسترش پایدار این سیستم‌ها را در شرایط کمبود آب تبیین نماید.

سیستم‌های آبیاری تحت فشار و کاربرد آن‌ها

۱. آبیاری قطره‌ای (Drip Irrigation)

آبیاری قطره‌ای یکی از دقیق‌ترین و مؤثرترین روش‌های آبیاری در شرایط کم‌آبی است که در آن آب به‌طور هدفمند و متواتر مستقیماً به ساحه ریشه نبات منتقل می‌گردد. این روش برخلاف آبیاری سطحی یا بارانی، نه تنها باعث کاهش تبخیر آب می‌شود بلکه میزان فرسایش خاک را نیز کاهش می‌دهد. به همین دلیل، در سال‌های اخیر آبیاری قطره‌ای به‌عنوان یکی از استراتژی‌های اساسی برای مدیریت پایدار منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح گردیده است (FAO, 2021, p. 17).

بر مبنای یافته‌های مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب (IWMI)، مثریت مصرف آب در سیستم آبیاری قطره‌ای معمولاً بین ۸۰ تا ۹۵ فیصد تخمین زده می‌شود، درحالی‌که این مقدار در آبیاری سطحی عموماً کم‌تر از ۴۰ فیصد است (IWMI, 2022, p. 12). این اختلاف نشان‌دهنده توانایی آبیاری قطره‌ای در افزایش مثریت آب می‌باشد، مخصوصاً در مناطقی که محدودیت منابع آبی، تهدیدی جدی برای سکتور تولید غذایی و زراعت به‌شمار می‌رود.

علاوه بر افزایش موثریت، آبیاری قطره‌ای امکان کوددهی دقیق (Fertigation) را نیز فراهم می‌سازد. در این روش، مواد مغذی به‌طور مستقیم با آب آبیاری مخلوط شده و در دسترس نبات قرار می‌گیرند که باعث کاهش مصرف کود، کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی و افزایش مثریت تغذیه نبات می‌گردد (Keller & Bliesner, 2020, p. 204).

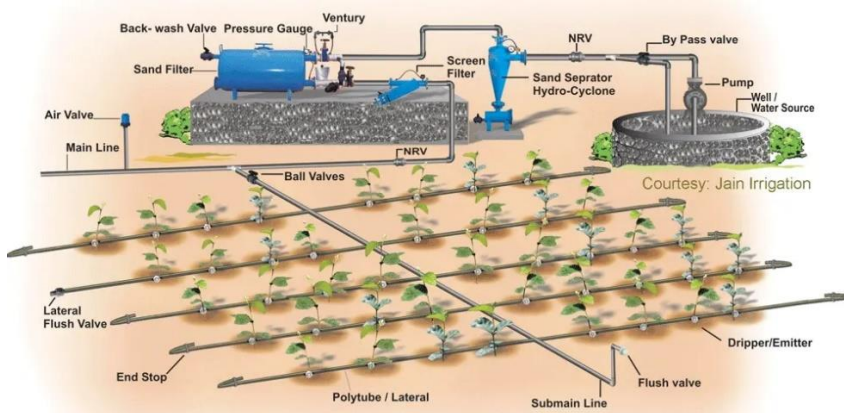
در مطالعاتی که در ایالت کالیفرنیا آمریکا توسط پوهنتون یو سی دیویس انجام شد، نشان داده شد که استفاده از آبیاری قطره‌ای در کشت زیتون باعث کاهش ۴۵ درصدی مصرف آب در مقایسه با آبیاری سطحی گردیده است، درحالی‌که عملکرد نبات کاهش نیافته، بلکه به‌صورت متوسط افزایش ۱۰ درصدی را نشان داده است (UCDavis, 2021, p. 35).

از دیدگاه اقتصادی نیز، اگرچه هزینه‌های ابتدایی نصب سیستم آبیاری قطره‌ای نسبتاً بلند است، اما بازگشت سرمایه از طریق کاهش مصرف آب، کود و انرژی در کم‌تر از دو سال امکان‌پذیر است (World Bank, 2020, p 41). بر اساس ارزیابی‌های بانک جهانی، در کشورهای در حال توسعه در زون‌های زراعتی آسیای مرکزی، خاورمیانه و شمال آفریقا؛ سرمایه‌گذاری در آبیاری قطره‌ای یکی از مؤثرترین پالیسی‌ها برای مقابله با کمبود آب شمرده می‌شود.

از نگاه تغییر اقلیم نیز، آبیاری قطره‌ای به دلیل کاهش وابستگی به منابع سطحی و استفاده درست از منابع محدود زیرزمینی، روشی سازگار با اصول زراعت اقلیم‌محور محسوب می‌شود (UN-Water, 2022, p. 11). این سیستم به ده‌ها قین امکان می‌دهد که دوره‌های خشک‌سالی و افزایش حرارت هوا را با کم‌ترین آسیب پشت سر بگذارند، بدون آن‌که به کیفیت یا کمیت محصول صدمه جدی وارد شود.

در قیاس آبیاری قطره‌ای و آبیاری غرقابی (flood irrigation)، تحقیقات جهانی نشان داده که آبیاری قطره‌ای از نظر موثریت آب، تولید محصول و کاهش تلفات

موثرتر است. آبیاری غرقابی که آب را به صورت گسترده و یکنواخت بر سطح خاک پخش می کند، با تلفات بالای تبخیر، رواناب سطحی و نفوذ عمیق همراه است، به طوری که در بسیاری از مناطق خشک جهان تنها ۳۰-۵۰ فیصد از آب تأمین شده توسط نباتات مصرف می شود (FAO, 2017). در مقابل آبیاری قطره ای آب را به طور مستقیم و کنترل شده به نزدیکی ریشه ها می رساند و می تواند موثریت مصرف آب را تا ۹۰ فیصد افزایش دهد (Shock et al., 2018). این روش هم چنین، باعث کاهش گیاهان هرزه، کم شدن شوری خاک و تقویت کیفیت محصول می شود، زیرا توزیع آب دقیق و مطابق نیاز نبات است (Postel et al., 2001). بر اساس مطالعات میدانی در شرایط کمبود آب و خاک های با نفوذپذیری متفاوت، آبیاری قطره ای می تواند مصرف آب را تا ۵۰ فیصد کاهش داده و عملکرد زراعت را تا ۳۰-۵۰ فیصد افزایش دهد نسبت به آبیاری غرقابی (Camp et al., 1993). بناءً از نگاه پایداری منابع آب و تأمین غذای جمعیت رو به رشد جهانی، آبیاری قطره ای به عنوان یک گزینه برتر شناخته می شود.



<https://vatan.bio/blog/drip-irrigation>

شکل (۱) سیستم آبیاری قطره ای

۲. آبیاری بارانی (Sprinkler Irrigation)

سیستم آبیاری بارانی یکی دیگر از روش های مؤثر، درست و رایج در مدیریت منابع آب در زراعت است که در آن آب به صورت ذرات بارش مانند؛



توسط آب‌پاش‌ها روی سطح مزرعه پاشیده می‌شود. این روش تشابه زیادی به بارش طبیعی داشته و برای کشت‌های قطاری و باغ‌ها مناسب است. موثریت مصرف آب در این سیستم مطابق گزارش سازمان غذا و زراعت (FAO) بین ۶۵ تا ۸۵ فیصد تخمین زده شده است، که نشان‌دهنده افزایش موثریت آن نسبت به آبیاری‌های عنعنوی است (FAO, 2019, p. 112).

آبیاری بارانی با ایجاد پاشش یکنواخت آب و تبخیر سطحی روان‌آب را کاهش می‌دهد و باعث می‌شود که آب بیش‌تر در ساحه ریشه نبات باقی بماند. این موضوع باعث تقویت رشد نبات و افزایش عملکرد می‌شود. تحقیقات نشان داده است که آبیاری بارانی نسبت به روش‌های سطحی یا کرتی، سبب کاهش ضایعات آب تا حدود ۳۰ فیصد می‌شود (Howell et al., 2002, p. 395). هم‌چنین، امکان کنترل شدت و مدت زمان آبیاری در این سیستم، باعث شده تا این روش قابلیت تطبیق بالایی با شرایط اقلیمی مختلف داشته باشد.

از لحاظ کاربردی، آبیاری بارانی به‌خصوص در مناطق با توپوگرافی ناهموار و خاک‌های سبک که روش‌های سنتی در آن‌ها با مشکلاتی مانند روان‌آب زیاد و فرسایش مواجه هستند، بسیار مؤثر است (Keller & Bliesner, 1990, p. 211). علاوه بر این، استفاده از این سیستم در باغ‌ها و مزارع قطاری مانند جواری، گندم و سبزیجات؛ مزیت بیش‌تری دارد زیرا، امکان تنظیم دقیق آبیاری برای هر ردیف وجود دارد.

یکی از خصوصیات مهم آبیاری بارانی، قابلیت ترکیب آن با سیستم‌های کوددهی محلول (Fertigation) است که به افزایش موثریت مصرف کود و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی کمک می‌کند. این مزیت باعث شده است که بسیاری از کشورهای پیشرفته، آبیاری بارانی را به‌عنوان بخشی از برنامه‌های توسعه پایدار زراعتی خود در نظر بگیرند (Pereira et al., 2020, p. 26).



در مقایسه آبیاری بارانی (Sprinkler Irrigation) با آبیاری غرقابی، مطالعات معتبر جهانی نشان می‌دهد که آبیاری بارانی از نظر کنترل توزیع آب، کاهش تلفات و افزایش مؤثریت مصرف آب مفیدیت بالاتری دارد. در آبیاری غرقابی، بخش قابل توجه‌ای از آب به دلیل تبخیر سطحی، رواناب و نفوذ عمقی بیش از حد از دسترس نبات خارج می‌شود و این امر به کاهش مؤثریت آبیاری و گاهی تخریب ساختار خاک می‌انجامد (FAO, 2015). در مقابل آبیاری بارانی آب را به صورت ذرات ریز و نسبتاً یکنواخت شبیه باران طبیعی بر سطح مزرعه پخش می‌کند و امکان تنظیم مقدار و زمان آبیاری مطابق نیاز نبات را فراهم می‌سازد (ASCE, 2019).

بر اساس گزارش‌های FAO مثریت مصرف آب در آبیاری بارانی معمولاً ۶۰ تا ۷۵ فیصد است در حالی که، این مقدار در آبیاری غرقابی اغلب کم‌تر از ۵۰ فیصد می‌باشد (FAO, 2017). افزون بر این، آبیاری بارانی باعث کاهش فرسایش خاک، تقویت یکنواختی رشد نبات و افزایش عملکرد محصول تا حدود ۲۰-۳۰ فیصد در بسیاری از محصولات زراعتی شده است (Howell, 2003). از این جهت در مناطق دارای محدودیت منابع آبی، آبیاری بارانی به عنوان گزینه‌ای کارآمدتر و پایدارتر نسبت به آبیاری غرقابی توصیه می‌گردد.

با وجود مزیت‌های زیاد، آبیاری بارانی دارای مشکلاتی نیز هست. از جمله این چالش‌ها می‌توان به هزینه‌های اولیه نصب تجهیزات، نیاز به دانش مسلکی و تخصصی برای نگهداری سیستم و مشکلات برآمده از باد و تبخیر در مناطق گرم و خشک اشاره کرد (Rogers et al., 1997, p. 54). در نتیجه، برای استفاده درست از این سیستم‌ها، حمایت‌های مالی، آموزشی و توسعه سیاست‌های مناسب ضروری است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در کشورهای در حال توسعه، موانع اقتصادی، نهادی و فرهنگی مهم‌ترین عوامل محدود کننده توسعه آبیاری بارانی هستند.

به‌عنوان مثال؛ در مطالعه‌ای که در ایران انجام شده، نبود آموزش کافی و عدم دسترسی به منابع مالی مناسب باعث شده است که دهاقین به استفاده از روش‌های سنتی ادامه دهند، هر چند که آبیاری بارانی می‌تواند مصرف آب را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد (Smith & Amini, 2020, p. 305).

بنابراین، در شرایط فعلی که منابع آب محدود و تغییرات اقلیمی تأثیرات قابل توجهی بر دهاقین دارند، توسعه و ترویج سیستم آبیاری بارانی می‌تواند نقش مهمی در رشد امنیت غذایی و پایداری منابع طبیعی ایفاء کند. لازم است برنامه‌های آموزشی و سیاست‌های تشویقی جهت حمایت از دهاقین برای نصب و نگهداری این سیستم‌ها طراحی شود تا علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب، درآمد و کیفیت محصولات نیز تقویت گردد (OECD, 2021, p. 24).



<https://ashenewsdaily.com/food-agriculture/kebbi-acquires-6000-solar-pumps-power-tillers-for-dry-season-farming/>

شکل (۲) آبیاری بارانی

۳. سیستم‌های هوشمند و حس‌گزار

سیستم‌های جدید آبیاری با استفاده از تکنالوژی‌های پیشرفته، به خصوص حس‌گرهای هوشمند رطوبت خاک، حرارت محیط و میزان تبخیر و تعرق نباتات، یکی از مهم‌ترین نوآوری‌ها در عرصه زراعت پیشرفته محسوب می‌گردند. این سیستم‌ها با جمع‌آوری و تحلیل اطلاعات محیطی در زمان واقعی (real-time)، زمینه را برای تصمیم‌گیری دقیق و خودکار در مورد زمان، مقدار و شدت آبیاری فراهم می‌سازند. بدین وسیله، نه تنها از ضایعات آبی جلوگیری می‌گردد، بلکه سلامت نبات، مؤثریت آب و در نهایت عملکرد زراعتی نیز افزایش می‌یابد (Jones, 2004, p. 78).

در این نوع سیستم‌ها، معمولاً شبکه‌ای از حس‌گرها در داخل و اطراف مزرعه نصب می‌گردند تا معلومات مهم در مورد شرایط رطوبت خاک، درجه حرارت هوا، شدت تابش آفتاب و تبخیر و تعرق را ثبت نمایند. اطلاعات جمع‌آوری شده از این حس‌گرها به سیستم مرکزی ارسال می‌شوند که در آنجا با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی و مدل‌های پیش‌بینی آب و هوایی، تصمیم‌گیری در مورد آبیاری انجام می‌گردد (Evet et al., 2012, p 45).

قابل ذکر است که میزان تبخیر و تعرق (ET) به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم نیاز آبی نبات، نقشی اساسی در این سیستم‌ها ایفاء می‌کند. محاسبه دقیق ET با در نظر گرفتن حرارت هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و تشعشعات آفتاب امکان‌پذیر است. سیستم‌های آبیاری هوشمند می‌توانند به‌صورت خودکار، سیستم‌های قطره‌ای یا بارانی را بر اساس اطلاعات مذکور فعال یا غیر فعال سازند. این امر نه تنها باعث صرفه‌جویی در منابع آب می‌گردد، بلکه از فشار بیش از حد بر منابع آبی زیرزمینی نیز جلوگیری می‌کند (Allen et al., 1998, p. 34).



هر چند مزیت استفاده از این سیستم‌ها در کشورهای پیشرفته از قبیل ایالات متحده امریکا، استرالیا و کشورهای اروپایی به‌صورت گسترده به اثبات رسیده است، اما متأسفانه در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، از جمله کشورهای آسیای میانه، افریقا و یک‌تعداد کشورهای جنوب آسیا استفاده از این تکنالوژی هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارد. علت‌های این عقب‌ماندگی می‌تواند شامل کمبود زیربنای تخنیکی، نبود سرمایه‌گذاری دولتی، عدم آگاهی دهاقین و محدودیت‌های فرهنگی و اقتصادی باشد (FAO, 2020, p. 22).

با این حال، تجربه کشورهای موفق نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در توسعه آبیاری هوشمند می‌تواند باعث استفاده چند برابری منابع آب و زمین گردد. در یک‌تعداد مناطق کالیفرنیا استفاده از سیستم‌های هوشمند آبیاری، مصرف آب را تا ۳۰ فیصد کاهش داده و در عین حال، حاصل‌دهی را نیز افزایش داده است (Coates et al., 2013, p. 63). این دستاوردها به‌خصوص در مناطقی که با بحران کم‌آبی روبه‌رواند از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار می‌باشند.

از منظر انسانی نیز سیستم‌های آبیاری هوشمند می‌توانند فشار کاری دهاقین را به شکل چشم‌گیری کاهش دهند. در سیستم‌های سنتی، دهقان مجبور است روزانه چندین بار وضعیت زمین، هوا و نباتات را بررسی نموده و براساس مشاهدات خود تصمیم‌گیری کند. این جریان زمان‌بر و خسته‌کننده است و همیشه همراه با اشتباهات انسانی می‌باشد. در مقابل سیستم‌های خودکار این فشار ذهنی را از دوش دهقان برداشته و او را قادر می‌سازد تا توجه خود را به سایر ابعاد زراعتی یا تجارتي مزرعه معطوف سازد (Zotarelli et al., 2016, p. 51).

در مقایسه سیستم‌های آبیاری هوشمند و حس‌گردار (Smart Irrigation Systems) با آبیاری غرقابی شواهد علمی نشان می‌دهد که آبیاری هوشمند از نظر دقت مدیریتی، مؤثریت مصرف آب و پایداری محیط‌زیست به مراتب مؤثریت



بالاتری دارد. آبیاری غرقابی که مبتنی بر برنامه‌های ثابت و غیر منعطف است، معمولاً باعث مصرف بیش از نیاز نبات، نشتی (Seepage)، تبخیر بالا و کاهش مثریت آبیاری می‌شود (FAO, 2017). در مقابل سیستم‌های آبیاری هوشمند با استفاده از حس‌گرهای رطوبت خاک، دیتای اقلیمی، تبخیر-تعرق و تکنالوژی دیجیتال، زمان و مقدار آبیاری را دقیقاً مطابق نیاز واقعی نبات تنظیم می‌کنند (Jones, 2004).

مطالعات تجربی نشان داده است که این سیستم‌ها قادراند مصرف آب را ۳۰ تا ۶۰ فیصد کاهش داده و در عین حال، عملکرد محصول را ۱۵ تا ۴۰ فیصد افزایش دهند، بدون آن‌که تنش آبی یا کاهش کیفیت محصول رخ دهد (Kim et al., 2008). بر علاوه، آبیاری هوشمند سبب کاهش شوری خاک، صرفه‌جویی در انرژی و افزایش یکنواختی رشد نبات می‌گردد که این عوامل نقش کلیدی در زراعت پایدار دارند (Smith et al., 2019). از این جهت در شرایط تغییر اقلیم و محدودیت منابع آب، سیستم‌های آبیاری هوشمند به‌عنوان جای‌گزینی کارآمد و علمی برای آبیاری غرقابی توصیه می‌شوند.

در نهایت باید اذعان داشت که برای تطبیق موفقانه این سیستم‌ها در کشورهای در حال توسعه نیاز به یک سیاست‌گذاری جامع وجود دارد که آموزش دهاقین، حمایت مالی و ایجاد زیرساخت‌های مناسب را در اولویت قرار دهد. اگر چنین سیاست‌هایی به‌طور همه‌جانبه و با مشارکت واقعی جوامع محلی به اجراء گذاشته شود، می‌توان به آینده‌ای امیدوار بود که در آن آبیاری نه یک مشکل بلکه فرصتی برای توسعه پایدار و معیشت پایدار دهاقین باشد.

مشکلات و موانع گسترش سیستم‌های آبیاری تحت فشار

۱. **هزینه اولیه زیاد:** نصب تجهیزات آبیاری تحت فشار نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجه‌ای است که در غیاب حمایت‌های دولتی، برای دهاقین کوچک غیرممکن می‌گردد.

۲. نبود آگاهی و آموزش: بسیاری از دهاقین در مناطق روستایی به دلیل نبود آگاهی از مزیت‌های این سیستم‌ها بی‌اطلاع‌اند.
۳. مشکلات تخنیکی و نگهداری: نیاز به افراد مسلکی برای نگهداری سیستم‌ها یکی از موانع اجرایی است.
۴. نبود سیاست‌های حمایتی مؤثر: در بسیاری از کشورها، حمایه یا تسهیلات مالی خاصی برای تجهیز مزارع به سیستم‌های جدید آبیاری وجود ندارد یا ناکارآمد است (UNESCO, 2020).

تحلیل سیاست‌های بین‌المللی و پیشنهاد سیاست‌های ملی

کشورهای مختلف جهان که با کمبود منابع آبی و افزایش نیازهای غذایی روبه‌رو هستند، به‌منظور بهبود مؤثریت آب و تولیدات زراعتی، به‌طور وسیع سیستم‌های آبیاری تحت فشار را جای‌گزین روش‌های سنتی ساخته‌اند. کشورهای چین و هند، ترکیه و چین از جمله نمونه‌های موفق در این زمینه‌اند که توانسته‌اند با استفاده از سیاست‌های حمایتی و برنامه‌ریزی دقیق، مصرف آب را کاهش و حاصل‌خیزی و تولیدات زراعتی را افزایش داده است (World Bank, 2021, p. 45).

یکی از اساسی‌ترین راه‌حل‌های این کشورها فراهم‌سازی حمایت‌های مالی هدفمند و هوشمندانه برای خرید و نصب تجهیزات آبیاری تحت فشار (قطره‌ای و بارانی) می‌باشد. برای مثال در هند دولت بیش از ۵۰ فیصد (دهاقین کم زمین ۵۵ فیصد و دهاقین با زمین بیش‌تر ۴۵ فیصد و در بعضی ایالت‌ها تا ۷۵ فیصد مصارف از سوی دولت پرداخته می‌شود) هزینه نصب سیستم آبیاری قطره‌ای را در بسیاری از ایالت‌ها می‌پردازد تا دهاقین کوچک نیز بتوانند از این تکنالوژی مستفید شوند (FAO, 2017, p. 22). هم‌زمان، دولت ترکیه با سرمایه‌گذاری گسترده در زیرساخت‌های آبی از جمله احداث ذخیره‌گاه‌های آب، کانال‌های انتقال و



ایستگاه‌های پمپاژ بستر لازم را برای توسعه سیستم‌های پیشرفته آبیاری فراهم ساخته است (OECD, 2020, p. 39).

در کشور چین دولت از طریق بانک‌های توسعه‌ای و برنامه‌های ده ساله استراتژیک، در سال ۲۰۱۷ بیش از ۳۴,۳۱۹ میلیون هکتار از زمین‌های زراعتی را به سیستم‌های آبیاری تحت فشار مجهز ساخته است. این اقدامات سبب افزایش تولید گندم، شالی و سبزیجات شده و به کنترل فرسایش خاک کمک کرده‌اند (World Bank, 2021, p. 51).

در کل تجربه این کشورها نشان می‌دهد که موفقیت در تطبیق سیستم‌های آبیاری تحت فشار، نیازمند سیاست‌گذاری جامع، حمایت‌های مالی هدفمند، آموزش عملی ده‌اقلین و دسترسی به بازار تجهیزات با کیفیت و ارزان قیمت می‌باشد.

پیشنهاد چارچوب سیاستی برای افغانستان

۱. ایجاد صندوق‌های اعتباری برای خرید تجهیزات آبیاری قطره‌ای و بارانی؛
۲. ایجاد و انکشاف مراکز آموزشی و مزارع پایلوت برای ترویج سیستم‌های جدید آبیاری؛
۳. تضمین خرید یا سبیدی تجهیزات از سوی دولت برای مناطق بحرانی از نظر تنش آبی؛
۴. اصلاح قوانین آب با محوریت مدیریت پایدار و تشویق صرفه‌جویی در مصرف آب؛
۵. ایجاد هماهنگی بین وزارت زراعت، منابع آب و نهادهای بین‌المللی برای اجرای برنامه‌های مشترک.



شماره	هدف پالیسی	اقدام پیشنهادی	نهاد مسئول	منابع مورد نیاز	شاخص‌های ارزیابی	زمان اجرا
1	تأمین منابع مالی برای زارعین	ایجاد صندوق‌های اعتباری برای خرید تجهیزات آبیاری	وزارت زراعت	بودجه دولتی، کمک‌های نهاد های و موسسات خارجی	تعداد قرضه‌ها اعطا شده	کوتاه‌مدت (۱-۲ سال)
2	ترویج سیستم‌های جدید آبیاری	ایجاد و انکشاف مراکز آموزشی و مزارع پایلوت در ولایات مختلف	وزارت زراعت، پوهنتون‌های زراعتی پوهنځی‌های زراعت پوهنتون‌ها	نیروی انسانی متخصص، تجهیزات آموزشی برای دهاقین محلی رشته زراعت	تعداد مراکز ایجاد شده، سطح آگاهی دهاقین محلی و محصولان رشته زراعت	میان‌مدت (۲-۴ سال)
3	حمایت از مناطق دارای تنش شدید آبی	تخصیص سوبساید یا تضمین خرید تجهیزات آبیاری در مناطق بحرانی	وزارت مالیه، وزارت زراعت	بودجه هدفمند، اطلاعات اقلیمی و جغرافیایی هر منطقه	مقدار تجهیزات توزیع شده، سطح زیر کشت تجهیز شده	کوتاه‌مدت (۱-۲ سال)
4	اصلاح بازنگری قوانین و طرز العمل‌های آبی کشور	بازنگری و تصویب قوانین جدید با تأکید بر مدیریت پایدار منابع آب و جلوگیری از اصراف آب	بخش عدلیه، وزارت منابع آب	همکاری متخصصان زراعت، مشاوران پالیسی ساز امارت اسلامی افغانستان	تصویب قوانین جدید، نرخ اجرای مقررات	میان‌مدت (۲-۳ سال)
5	تقویت همکاری بین نهاد‌های ملی و بین‌المللی	ایجاد کمیته‌های مشترک بین وزارت زراعت، منابع آب و سازمان‌های بین‌المللی	ریاست‌الوزرا، وزارت خارجه، وزارت زراعت	دفاتر هماهنگی، سیستم‌های معلوماتی مشترک	تعداد پروژه‌های مشترک، سطح بودجه بین‌المللی جذب شده	درازمدت (۳-۵ سال)



نتیجه گیری

بدون شک استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار مانند آبیاری قطره‌ای و بارانی به‌عنوان یک راه‌حل مناسب برای کاهش مصرف آب و افزایش موثریت آن در سکتور زراعت شناخته می‌شود. تجربیات موفق در کشورهای چون هند، ترکیه و چین نشان داده است که این سیستم‌ها می‌توانند به‌طور گسترده جای‌گزین روش‌های سنتی شوند؛ به شرطی که با سیاست‌های حمایتی، زیربنایی و فرهنگی همراه باشند با این حال در کشورهایی مثل افغانستان که با مشکلات جدی در حوزه مدیریت منابع آبی، کمبود زیربنا، ضعف آموزش‌های مرتبط به آبیاری و نبود سرمایه‌گذاری‌های کافی مواجه‌اند، تطبیق موفق این سیستم‌ها نیازمند یک نگاه کل‌نگر و چند بعدی دارد.

در چنین شرایطی، نتیجه‌گیری دقیق این است که موفقیت در نهادینه‌سازی سیستم‌های آبیاری تحت فشار در افغانستان نه تنها وابسته به خود تکنالوژی است، بلکه به میزان هماهنگی بین سیاست‌گذاران، نهادهای اجرایی، تمویل‌کنندگان بین‌المللی و دهاقین نیز بستگی دارد. دولت باید نقش فعال در ایجاد سیاست‌های حمایتی ایفاء کند؛ مانند ارائه سبسی‌دی برای خرید تجهیزات آبیاری، ایجاد مراکز آموزشی و تحقیقاتی، تدوین قوانین مشوق مصرف معقول آب و تقویت همکاری‌های منطقه‌ای و جهانی در زمینه‌ی مدیریت پایدار منابع آب. از سوی دیگر، درک عمیق از شرایط اقلیمی، اجتماعی و اقتصادی هر منطقه باید مبنای تصمیم‌گیری در پیاده‌سازی این سیستم‌ها قرار گیرد. نبود این درک سبب می‌شود که پروژه‌ها شکست بخورند یا تأثیر مورد انتظار را نداشته باشند. هم‌چنان، ضروری است که مردم محل به شکل واقعی در جریان تصمیم‌گیری، آموزش و مالکیت پروژه‌ها دخیل باشند تا حس مسئولیت‌پذیری و بقای تکنالوژی در دراز مدت تضمین گردد. در نهایت می‌توان گفت که آینده مدیریت منابع آبی در سکتور زراعت افغانستان در گرو پیوند میان دانش مسلکی مدرن، حمایت‌های مؤثر مالی و سیاسی و تقویت ظرفیت‌های انسانی و نهادی در سطح محلی است. تنها با این روش چند لایه و واقع‌بینانه می‌توان امید داشت که سیستم‌های آبیاری تحت فشار نقش مؤثر و پایداری در امنیت غذایی و توسعه پایدار کشور ایفاء کنند.



References

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/X0490E>
- ASCE. (2019). *Design and operation of sprinkler irrigation systems*. American Society of Civil Engineers.
- Camp, C. R., et al. (1993). *Water Use Efficiency of Drip vs. Flood Irrigation*. Agricultural Water Management.
- Coates, R. W., Delwiche, M. J., & Brown, P. H. (2013). Sensor-controlled variable rate irrigation in almond orchards. *Computers and Electronics in Agriculture*, 96, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.05.003>
- Evet, S. R., Schwartz, R. C., Casanova, J. J., & Heng, L. K. (2012). Soil water sensing for water balance, ET and WUE. *Agricultural Water Management*, 104, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.002>
- FAO. (2015). *Modern irrigation techniques and water efficiency*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2017). *Irrigation in the 21st century*. Food and Agriculture Organization.
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/i6583e>
- FAO. (2017). *Water for sustainable food and agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2020). *Status of digital agriculture in 47 Sub-Saharan African countries*. Rome: Food and Agriculture Organization. <https://doi.org/10.4060/cb1963en>
- FAO. (2021). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture – Systems at breaking point*. Rome: FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9910en>
- Howell, T. A. (2003). *Irrigation efficiency*. Encyclopedia of Water Science.



- IWMI. (2022). *Water productivity: Measuring and enhancing water use efficiency in agriculture*. Colombo: International Water Management Institute. <https://doi.org/10.5337/2022.222>
- Jones, H. G. (2004). Irrigation scheduling: Advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2427–2436.
- Keller, J., & Bliesner, R. D. (2019). *Sprinkle and trickle irrigation* (2nd ed.). New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-12343-7>
- Kim, Y., Evans, R. G., & Iversen, W. M. (2008). Remote sensing and control of an irrigation system using a distributed wireless sensor network. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 57(7), 1379–1387.
- Narayanamoorthy, A. (2018). Drip irrigation in India: Opportunities, issues and challenges. *Water Policy*, 20(2), 37–50. <https://doi.org/10.2166/wp.2017.143>
- Pereira, L. S., Oweis, T., & Zairi, A. (2020). Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management*, 243, 105–117. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106238>
- Postel, S. (1999). *Pillar of sand: Can the irrigation miracle last?* New York: W. W. Norton & Company.
- Postel, S., Polak, P., Gonzales, F., & Keller, J. (2001). *Drip Irrigation for Agriculture: Untold Stories*.
- Sadat, M. (2022). Water resource management in Afghanistan: Challenges and opportunities. *Afghan Journal of Agriculture*, 7(1), 7–15.
- Shock, C. C., et al. (2018). *Drip Irrigation Efficiency*. Journal of Irrigation Science.
- Smith, M., Fereres, E., & Goldhamer, D. (2019). Smart irrigation and water productivity. *Agricultural Water Management*, 213, 105–115.
- UCDavis. (2021). *Drip irrigation in olive cultivation: Water use efficiency and yield improvement*. Davis, CA: University of California, Davis. <https://doi.org/10.3733/ucanr.8570>



- UN-Water. (2022). *Water and climate change: Accelerating adaptation through resilient agriculture*. Geneva: United Nations. <https://www.unwater.org/publications/water-and-climate-change>
- World Bank. (2020). *Transforming irrigation in the Middle East and North Africa*. Washington, DC: World Bank Publications. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1562-4>
- World Bank. (2020). *Transforming irrigation management: Global review and policy outlook*. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1472-6>
- World Bank. (2021). *Water productivity in agriculture: Boosting resource use efficiency and food security*. Washington, DC: World Bank Group. <https://doi.org/10.1596/35789>
- Zotarelli, L., Dukes, M. D., & Morgan, K. T. (2016). *Interpretation of soil moisture sensor data*. University of Florida IFAS Extension. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AE266>